

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-015093

(43)Date of publication of application : 17.01.1995

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

G02F 1/31

H01L 33/00

(21)Application number : 05-154041

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 25.06.1993

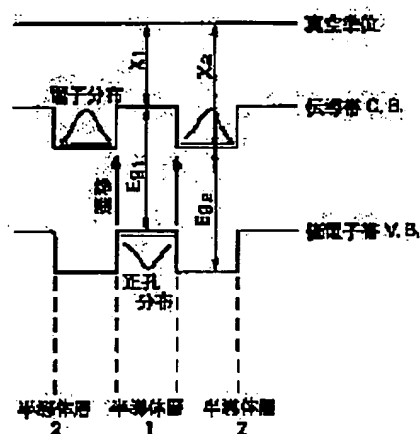
(72)Inventor : MAKITA KIKUO

## (54) OPTICAL SEMICONDUCTOR ELEMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a optical semiconductor element, especially a low power consumption, high response electric field absorption modulator module and variable refractive index modulator module having high extinction ratio and a semiconductor laser element having wide variable wavelength.

CONSTITUTION: A superlattice structure having a band structure as shown below is employed for the light absorption layer in an electric field absorption modulator module, the optical modulation layer in a variable refractive index modulator module, and the tuning layer in a variable wavelength semiconductor layer. The superlattice structure satisfies the relationships; „1<„2 and „1+Eg1<„2+Eg2, where „1, „2 represent the electron affinity of semiconductor materials 1, 2 forming a superlattice structure, and Eg1, Eg2 represent the band gap energies.



$$X_1 < X_2$$

$$X_1 + Eg_1 < X_2 + Eg_2$$

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.06.1993

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2606079

[Date of registration] 13.02.1997

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-15093

(43)公開日 平成7年(1995)1月17日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/18				
G 0 2 F 1/31		7625-2K		
H 0 1 L 33/00	A	7376-4M		

審査請求 有 請求項の数4 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平5-154041

(22)出願日 平成5年(1993)6月25日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 牧田 紀久夫

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

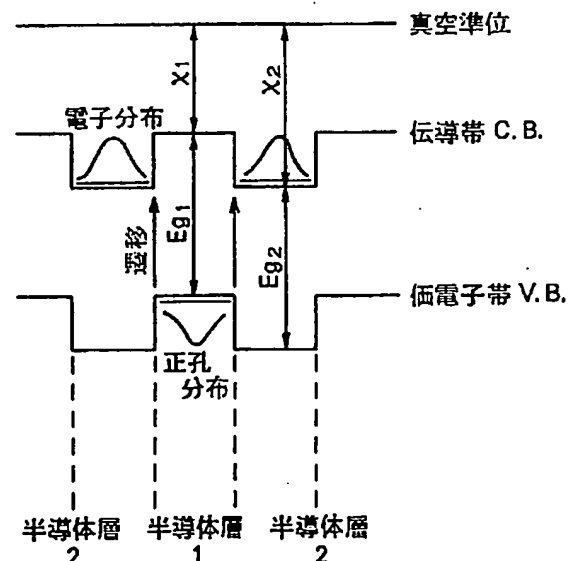
(74)代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54)【発明の名称】 光半導体素子

(57)【要約】

【目的】 光半導体素子に関し、特に低消費電力・高速応答・高消光比を有する電界吸収型光変調素子及び屈折率変化型光変調素子、更に広い波長可変を有する波長可変半導体レーザ素子に関する。

【構成】 電界吸収型光変調素子における光吸収層、屈折率光変調素子における光変調層、波長可変半導体レーザにおけるチューニング層に次なるバンド構造を有する超格子構造を用いる。超格子構造を形成する半導体材料1、2の電子親和力 $X_1$ 、 $X_2$ 、禁制帯エネルギー $E_{g1}$ 、 $E_{g2}$ とした場合、 $X_1 < X_2$  且つ  $X_1 + E_{g1} < X_2 + E_{g2}$  を満たす超格子構造である。



$$X_1 < X_2$$

$$X_1 + E_{g1} < X_2 + E_{g2}$$

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板上に、超格子構造を有する半導体素子において、前記超格子構造を形成する半導体材料 1、2 の電子親和力  $\chi_1$ 、 $\chi_2$ 、禁制帯エネルギー  $E_{g1}$ 、 $E_{g2}$  が次なる関係を有する事を特徴とする光半導体素子。

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{g1} < \chi_2 + E_{g2}$$

【請求項 2】 半導体基板上に n 型クラッド層、光吸収（透過）層、p 型クラッド層を基本構造として有し、印加電圧による光吸収変化により光変調を生じさせるいわゆる電界吸収型半導体光変調素子において、前記光吸収（透過）層が半導体材料 1、2 からなる超格子構造であり且つ各々の電子親和力  $\chi_1$ 、 $\chi_2$ 、禁制帯エネルギー  $E_{g1}$ 、 $E_{g2}$  が次なる関係を有する事を特徴とする電界吸収型半導体光変調素子。

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{g1} < \chi_2 + E_{g2}$$

【請求項 3】 半導体基板上に n 型クラッド層、光変調（透過）層、p 型クラッド層を基本構造として有し、印加電圧による屈折率変化により光変調を生じさせるいわゆる屈折率変化型半導体光変調素子において、前記光変調（透過）層が半導体材料 1、2 からなる超格子構造であり且つ各々の電子親和力  $\chi_1$ 、 $\chi_2$ 、禁制帯エネルギー  $E_{g1}$ 、 $E_{g2}$  が次なる関係を有する事を特徴とする屈折率変化型半導体光変調素子。

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{g1} < \chi_2 + E_{g2}$$

【請求項 4】 半導体基板上にバッファ層、光チューニング層、n 型クラッド層、活性層、p 型クラッド層を基本構造として有し、印加電圧或いは電流注入による屈折率変化により発振波長変化を生じさせるいわゆる波長可変半導体レーザ素子において、前記光チューニング層が半導体材料 1、2 からなる超格子構造であり、且つ各々の電子親和力  $\chi_1$ 、 $\chi_2$ 、禁制帯エネルギー  $E_{g1}$ 、 $E_{g2}$  が次なる関係を有する事を特徴とする波長可変半導体レーザ素子。

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{g1} < \chi_2 + E_{g2}$$

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光半導体素子に関し、特に低消費電力・高速応答・高消光比を有する電界吸収型光変調素子及び屈折変化型光変調素子、更に広い波長可変を有する波長可変半導体レーザ素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、長波長帯光通信システムにおいて光信号は直接に単一波長半導体レーザを変調する事により行っていた。しかしながら、近年の超高速・大容量光伝送の実現の為、半導体レーザの直接変調方式より光

変調素子を用いた外部変調方式が有効である事が、更には波長可変半導体レーザを用いて波長多重方式による大容量化の検討等が行われている。

【0003】 光変調素子においては、半導体を用いた電界吸収型光変調素子及び屈折変化型光変調素子が装置の小型化・容易性といった面で優れておりこれまで多くの報告が為されている（例えば、（アプライド・フィジクス・レターズ（Appl. Phys. Lett., 60（1992）p2324））。

【0004】 図 10 には、半導体電界吸収型光変調素子の従来技術による基本原理を示す。概略的には、光吸収（透過）層なる i-半導体層を pin 構造で積層した基本構造において、印加電界により光吸収端波長近傍での吸収の程度を制御し光変調する事にある。

【0005】 図 11 には、屈折率変化型光変調素子の一例として方向性結合器の従来技術による基本原理を示す。概略的には、光変調（透過）層なる i-半導体層を pin 構造で積層した基本構造において、2本の導波路が光結合を生じる程度に近接させる事を特徴としている。ここで、2本の導波路が電界印加すると屈折率変化による結合の程度が変化し、透過光に対する光変調が可能となる。また屈折率変化型の特徴として、吸収端よりも長波長光を変調光として用いる事により、光吸収による光キャリアの発生がないため、本質的に高速動作が可能という長所もある。

【0006】 これらの光変調素子の性能として大事な事は、低消費電力、高速応答が可能な事、変調光の ON-OFF（消光比）が大きくとれる事である。

【0007】 波長多重通信の基本素子である波長可変半導体レーザ素子は、チューニング領域に電圧印加或いは電流注入する事により屈折率変化を生じさせ、比較的簡単に発振波長を変化させる事にある。図 12 には、従来例としてチューナブル・ツイーン・ガイド・レーザ素子（TTG-LD）を示しており、基本的にはレーザ素子の一領域にチューニング領域を有する構造となっている（例えば 1993 年度電子情報通信学会春季大会予稿集 4-402）。本例では、チューニング層に電流注入する事により、キャリアのプラズマ効果により屈折率変化を生じさせ、光フィールド分布を変化させる。この結果チューニング領域を介して発振波長を可変出来る。波長可変素子として重要な事は、チューニング領域が屈折率変化が大きく且つ低損失材料である事が重要である。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】 電界吸収型光変調素子において、低消費電力で大きな消光比を有するには光吸収（透過）層の電界に対する吸収係数の変化（電界効果）が大きい事が要求される。これまでは、電界効果として図 10（a）に示すバルク半導体層の Franz-Keldysh 効果、図 10（b）に示す type I 超格子半導体層のシュタルク効果を利用する事が一般的で

ある。ここで type I 超格子構造とは、半導体材料 1、2 からなる超格子構造において各々の電子親和力  $\chi_1$ 、 $\chi_2$ 、禁制帯エネルギー  $E_{g1}$ 、 $E_{g2}$  とした場合次なる関係を有しているものを指す。

【0009】

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{g1} > \chi_2 + E_{g2}$$

両効果とも有電界時には光吸収端波長が長波長側にシフト (red-shift) するが、Franz-Keldysh 効果はかなり高電界を必要とする事、シュタルク効果は比較的低電界で動作が可能であるが以下の問題点がある。すなわち、第一に半導体超格子層に特徴的な明瞭なエキシトン特性 (急峻な吸収端特性と考えても良い) が要求されるが、現実の光通信帯で有用な  $1\mu\text{m}$  帯材料においては得られていない。第2に、シュタルク効果は超格子井戸層内の電界時のキャリア分極による遷移確率の低減を利用しているが、キャリアの空間分離が十分でないため遷移確率の低減は十分でない。以上より、現状の電界吸収型光変調素子は吸収係数の変化が十分でない事が考えられる。

【0010】次に屈折率変化型光変調素子において、低消費電力・高速応答・大消光比を得るには、光透過層の電界に対する屈折率変化が大きい事が要求される。この為、最近では屈折率変化の電界依存性が大きい半導体超格子構造が期待されており、これまで光変調 (透過) 層としては前述した type I 超格子構造による適用がある。ところが type I 超格子構造では、電界印加時に前述したシュタルク効果による吸収端の超波長側へのシフト (red-shift) が生じ、このため透過光の吸収を生じる場合がある。この吸収による光キャリアの発生は、本質的に高速応答が可能な屈折率変化型光変調素子の特徴を阻害するものである。

【0011】次に波長可変半導体レーザにおいては、チューニング層でのキャリア密度分布を大きくする事によって屈折率変化が大きくとれる為、半導体バルク層よりも type I 超格子構造が有用とされている。ところが、通常 type I 超格子構造ではキャリアの再結合が起き易く (電子・正孔の分布確率が空間的に重なっている為)、実効的なキャリア密度の減少が生じる。このため、屈折率変化が小さく波長可変量が十分でなかった。

【0012】本発明の目的は、これらの問題点を解決して、大きな電界効果を効率的に起こす電界吸収型光変調素子、大きな屈折率変化及び高速応答が可能な屈折率変化型光変調素子、大きな波長可変を有する波長可変半導体レーザ素子を提供する事にある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の第一の光変調素子は、半導体基板上に n 型クラッド層、光吸収 (透過) 層、p 型クラッド層を基本構造として有し、印加電圧による光吸収変化により光変調を生じさせるいわゆる電界

吸収型半導体光変調素子において、前記光吸収 (透過) 層が半導体材料 1、2 からなる超格子構造であり且つ各々の電子親和力  $\chi_1$ 、 $\chi_2$ 、禁制帯エネルギー  $E_{g1}$ 、 $E_{g2}$  が次なる関係を有する事を特徴としている。

【0014】

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{g1} < \chi_2 + E_{g2}$$

本発明の第二の光変調素子は、半導体基板上に n 型クラッド層、光透過層、p 型クラッド層を基本構造として有し、印加電圧による屈折率変化により光変調を生じさせるいわゆる屈折率変化型半導体光変調素子において、前記光透過層が半導体材料 1、2 からなる超格子構造であり且つ各々の電子親和力  $\chi_1$ 、 $\chi_2$ 、禁制帯エネルギー  $E_{g1}$ 、 $E_{g2}$  が次なる関係を有する事を特徴としている。

【0015】

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{g1} < \chi_2 + E_{g2}$$

本発明第三の半導体レーザ素子は、半導体基板上にバッファ層、光チューニング層、n 型クラッド層、活性層、p 型クラッド層を基本構造として有し、印加電圧或いは電流注入による屈折率変化により発振波長変化を生じさせるいわゆる波長可変半導体レーザ素子において、前記光チューニング層が半導体材料 1、2 からなる超格子構造であり且つ各々の電子親和力  $\chi_1$ 、 $\chi_2$ 、禁制帯エネルギー  $E_{g1}$ 、 $E_{g2}$  が次なる関係を有する事を特徴としている。

【0016】

$$\chi_1 < \chi_2$$

$$\chi_1 + E_{g1} < \chi_2 + E_{g2}$$

【作用】本発明は、上述の手段をとる事により従来技術の課題を解決した。

【0017】図 1 には、本発明の基本を為す半導体超格子構造のバンド図を示す。つまり、電子親和力が  $\chi_1 < \chi_2$ 、禁制帯エネルギーを  $E_{g1}$ 、 $E_{g2}$  とすると、 $\chi_1 + E_{g1} < \chi_2 + E_{g2}$  なる関係を有する半導体材料 1、2 からなる半導体超格子層 (以下 type II 超格子と称す) である。

【0018】図 2 には、本発明の第一の作用を示す。つまり、前述した type II 超格子構造の光吸収電界依存性を示したもので、無電界時を図 1 (a)、有電界時を図 1 (b) に示す。無電界時の吸収は、最低禁制帯エネルギーを有する半導体層 1、2 ヘテロ界面近傍のみで起こると考えられるが、電子・正孔分布確率が空間的に完全に分離されているため極めて遷移確率が低く間接遷移型に近い吸収特性を示す。しかしながら、有電界時には電子・正孔分布確率が空間的にオーバーラップしてくる為、遷移確率が増加し直接遷移型に近い大きな吸収特性を有する。

【0019】また本発明においては、従来の type I

超格子のシュタルク効果に要求される明瞭なるエキシトン特性が本質的に不要のため、材料的にも容易に得られる。

【0020】以上より、本発明によるtype I 超格子における電界効果は、従来のバルク半導体層のFranz-Keldysh効果、type I 超格子半導体層のシュタルク効果に比較して大きな電界効果（電界による大きな吸収係数の変化）を有している。本効果を活用した電界吸収型光変調素子は、従来素子と比較し低電界動作で大きな消光比を有する事が可能となる。

【0021】図3には、本発明の第二の作用を示す。つまり前述したtype I 超格子において、吸収特性の電界依存性を図2に示す。吸収は、最低禁制帯エネルギーを有する半導体層1、2ヘテロ界面近傍のみで起こるが、電界印加により電子・正孔の空間分布が重なり吸収が大きくなる。ところが、この場合吸収端はヘテロ界面近傍のバンド構造が三角ポテンシャル化するため短波長化(blue-shift)する。これは、従来技術で問題であったtype I 超格子半導体層のシュタルク効果(red-shift)による光吸収の問題を回避する。つまり、超格子構造による大きな屈折率変化を維持しながら、光吸収の問題を解決し、高速応答が可能となる。

【0022】図4は、本発明の第三の作用を示すもので、波長可変半導体レーザ素子のチューニング層としてのtype I 超格子を適用する。ここで、電流注入を行うとキャリア密度増大による屈折率変化が期待されるが、本発明では更にバンド構造により電子、正孔キャリアが空間的分離するため再結合確率が極めて低い。この為、従来type I 超格子チューニング層で問題であった再結合によるキャリア密度低減が抑制できるため、より大きな屈折率変化を得る事が出来る。つまり、本作用により大きな波長可変量が実現される。

【0023】

【実施例】以下、本発明の一実施例について図面を参照して詳細に説明する。

【0024】図5は、本発明の作用1の一実施例により形成された電界吸収型光変調素子の断面図及び光吸収(透過)層のバンド構造である。

【0025】この実施例は、n-InP基板1上にn-InPクラッド層2、n-InP/InAlAs超格子光吸収(透過)層3、p-InPクラッド層4を順次積層し、その後にエッチングにより導波型光変調素子を得ている。ここで、n-InP/InAlAs超格子光吸収(透過)層3は本発明によるものでInP~70Å:InAlAs~70Å:30周期構造であり、図5内に示したバンド構造図に示すように伝導帯不連続 $\Delta E_c = 0.38\text{ eV}$ 、価電子帯不連続 $\Delta E_v = 0.26\text{ eV}$ を有するtype I 超格子である。ここで、本素子にn-InP/InAlAs超格子光吸収(透過)層3の吸

収端に近い1125nm光を入射させ、素子印加電圧を変調する事により無電界時には透過光ON、有電界時には透過光OFFの状態が得られる。

【0026】図6には、本発明による素子の印加電圧に対する消光特性を示す。低電圧により十分な消光特性が得られている事が判る。

【0027】図7は、本発明の作用2の一実施例により形成された屈折率変化型方向性結合器光変調素子の断面図及び光吸収(透過)層のバンド構造図である。

【0028】この実施例は、n-InP基板11上にn-InPクラッド層12、n-InP/InAlAs超格子光透過層13、p-InPクラッド層14を順次積層し、その後にエッチングにより光結合が生じる程度に近傍させた2本の導波路を得ている。ここで、n-InP/InAlAs超格子光透過層13は本発明によるものでInP~70Å:InAlAs~70Å:30周期構造であり、図7内に示したバンド構造図に示すように伝導帯不連続 $\Delta E_c = 0.38\text{ eV}$ 、価電子帯不連続 $\Delta E_v = 0.26\text{ eV}$ を有するtype I 超格子である。ここで、本素子に1.3μm帯光(n-InP/InAlAs超格子光吸収(透過)層3の吸収端は1100nm程度)を入射させ、素子印加電圧を変調する事により出力導波路で透過光ON・OFFの状態が得られる。図8には、本発明による素子の印加電圧に対する消光特性を示す。低電圧により十分な消光特性が得られている事が判る。更に、作用に示した通り1.3μm帯光に対する吸収がないため光キャリア発生が無く、本質的な高速動作が可能である。なお本実施例では、方向性結合器型光変調素子について示したが、同様の屈折率変化を利用したマッハエンダー型光変調素子などにも同様の効果を示す。

【0029】図9は、本発明の作用3の一実施例により形成された波長可変半導体レーザ素子の素子断面図とバンド構造図である。

【0030】この実施例では、p-InP基板21上にp-InPバッファ層22、n-InP/InAlAsチューニング層23、n-InPクラッド層24、n-InP/InGaAsP活性層25、p-InPクラッド層26、p-InGaAsコンタクト層27を順次積層し、この後ストライプ状にエッチングしn-InP28埋め込み層を成長する。この後、n側電極29・p側電極30・31を形成し、発振領域32、チューニング領域33からなる波長可変半導体レーザ素子が得られる。ここで、n-InP/InAlAsチューニング層23は本発明によるものでInP~70Å:InAlAs~70Å:30周期構造であり、図9内に示したバンド構造図に示すように伝導帯不連続 $\Delta E_c = 0.38\text{ eV}$ 、価電子帯不連続 $\Delta E_v = 0.26\text{ eV}$ を有するtype I 超格子である。ここで、発振領域32、チューニング領域33の注入電流を各々制御する事により作用

3に従いレーザ発振波長を可変できる。なお本実施例により得られた波長可変半導体レーザは、通常のtype I超格子構造からなる波長可変半導体レーザ素子に比較して約3倍の波長可変量が得られた。

【0031】以上材料としては、いずれも本実施例ではInP/InAlAs超格子層を適用しているが、原理的にtype II超格子構造を有していれば可能で、例えば他にInGaAsP/InGaAlAs、InGaAlAs/GaAlAsSb超格子系に対しても適用ができる。

#### 【0032】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明によって得られた光変調素子は、type II超格子層を光吸収（透過）層として用いる事により、吸収係数の大きな電界依存性を有する電界吸収型光変調素子、光吸収汚染の無い且つ屈折率変化の大きな電界依存性を有する屈折率変化型光変調素子を得る事ができる。それ故、低電力・高消光比・高速応答に優れた光通信用高速光変調素子が得られる。

【0033】また、本発明によって得られた波長可変半導体レーザはtype II超格子層をチューニング層として用いる事により、より大きな屈折率変化を可能とし、波長可変量が大きな波長可変半導体レーザ素子が実現できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本原理でtype II超格子構造のバンド構造図を示す。

【図2】本発明第一の作用を示すものでtype II超格子のバンド構造図及び吸収特性を示す図。aが無電界時、bが有電界時である。

【図3】本発明第二の作用を示すものでtype II超格子のバンド構造図及び吸収特性の電界依存性を示す図。

【図4】本発明第三の作用を示すもので波長可変半導体レーザ素子にtype II超格子を適用したときのバンド構造図を示す。(a)がキャリア注入が無いとき、(b)がキャリア注入時を示す図。

【図5】本発明第一の作用に基づいて得られる電界吸収型光変調素子の断面図(a)及び光吸収(透過)層のバンド構造図(b)を示す。

【図6】本発明第一により得られた電界吸収型光変調素子の印加電圧に対する消光特性図を示す。

【図7】本発明第二の作用に基づいて得られる屈折率変化型方向性結合器光変調素子の断面図(a)及び光変調(透過)層のバンド構造図(b)を示す。

【図8】本発明第二により得られた屈折率変化型方向性結合器光変調素子の印加電圧に対する消光特性図を示す。

す。

【図9】本発明第三により得られた波長可変レーザ素子の断面図(a)及びチューニング層のバンド構造図(b)を示す。

【図10】従来技術による電界吸収型光変調素子を示す図(c)と(a)がバルク半導体層のFranz-Keldysh効果、(b)がtype I超格子半導体層のシュタルク効果を利用したもので、印加電界による吸収係数の変化を説明するための図。

【図11】従来技術による屈折率変化型方向性結合器光変調素子を示す図(a)と印加電圧と出射光パワーの関係を示す図(b)である。

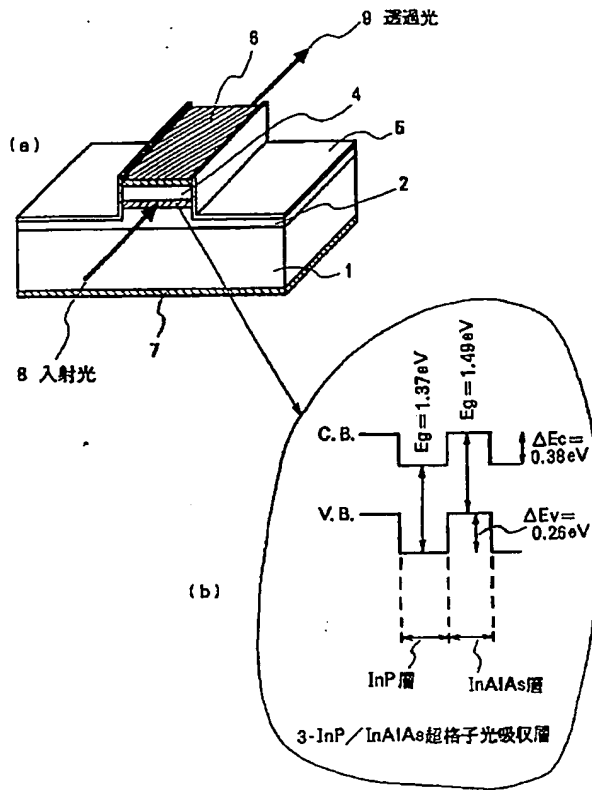
【図12】従来技術による波長可変半導体レーザ素子を示す図(a)とそのバンド図(b)である。

#### 【符号の説明】

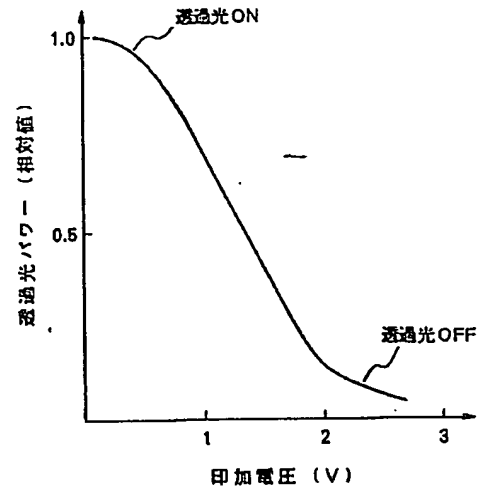
- 1 n-InP基板
- 2 n-InPクラッド層
- 3 n-InP/InAlAs超格子光吸収(透過)層
- 4 p-InPクラッド層
- 5 SiN<sub>x</sub>膜
- 6 p型電極
- 7 n型電極
- 8 入射光
- 9 透過光
- 11 n-InP基板
- 12 n-InPクラッド層
- 13 n-InP/InAlAs超格子光変調(透過)層
- 14 p-InPクラッド層
- 15 SiN<sub>x</sub>膜
- 16 p型電極
- 17 n型電極
- 18 入射光
- 19 出射光
- 21 p-InP基板
- 22 n-InPバッファ層
- 23 n-InP/InAlAsチューニング層
- 24 n-InPクラッド層
- 25 n-InP/InGaAsP活性層
- 26 p-InPクラッド層
- 27 p-InGaAsコンタクト層
- 28 n-InP埋め込み層
- 29 n側電極
- 30 p側電極
- 31 p側電極
- 32 発振領域
- 33 チューニング領域



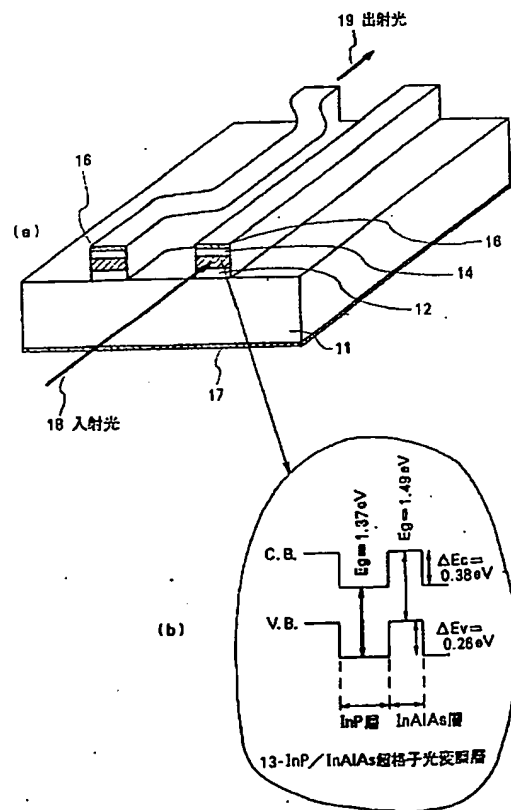
【図5】



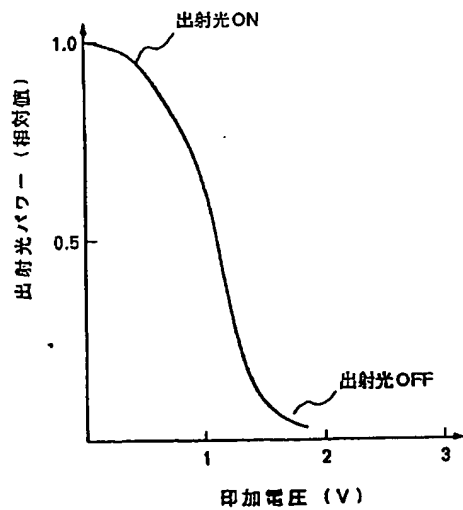
【図6】



【図7】

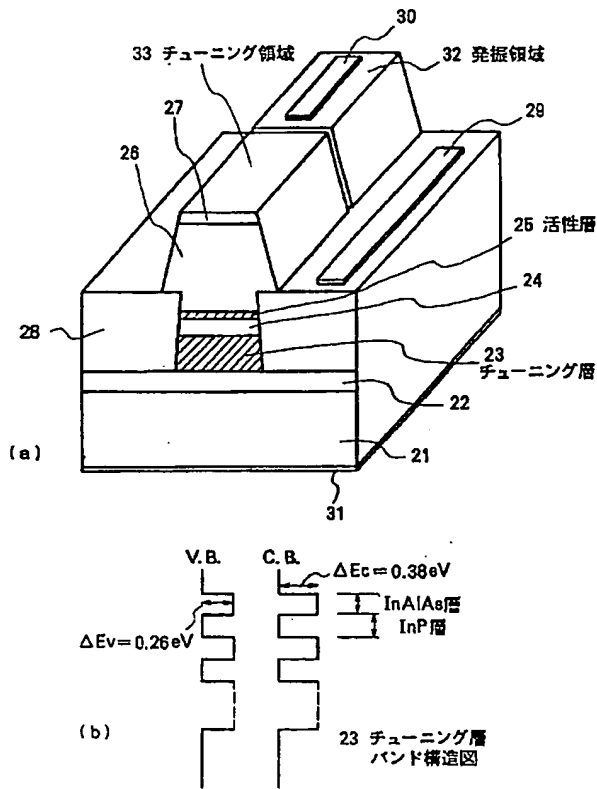


【図8】

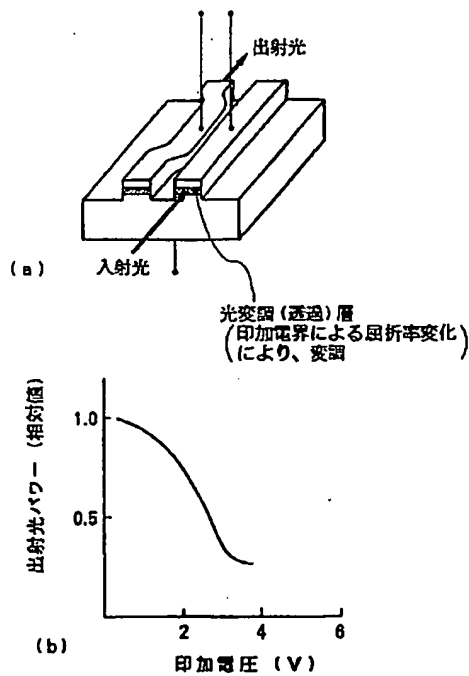




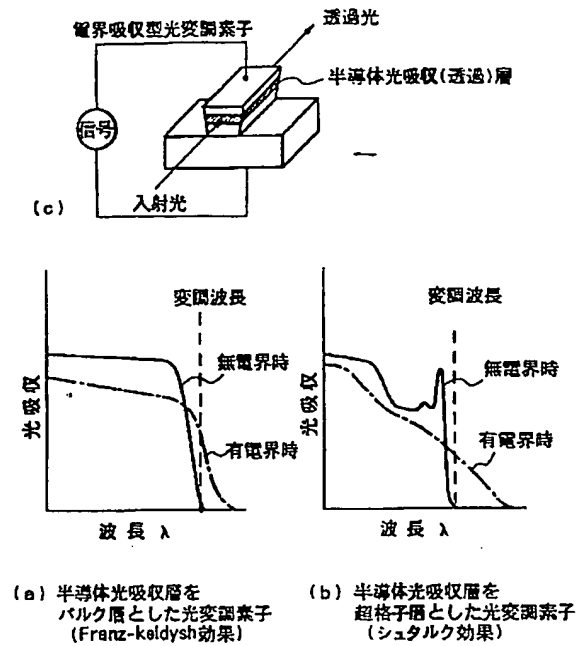
【図9】



【図11】



【図10】



【図12】

